

ПЕРЕСТРАИВАЕМЫЙ ПАРАМЕТРИЧЕСКИЙ ГЕНЕРАТОР СВЕТА НА КРИСТАЛЛЕ КДР

**С.А.Ахманов, А.И.Ковригин, В.А.Колосов, А.С.Пискарскас,
В.В.Фадеев, Р.В.Хохлов**

Предметом настоящего сообщения является изложение результатов экспериментальной работы, приведшей к созданию плавно перестраиваем-

Вклейка к статье С. А. Ахминова и др. (стр. 372)

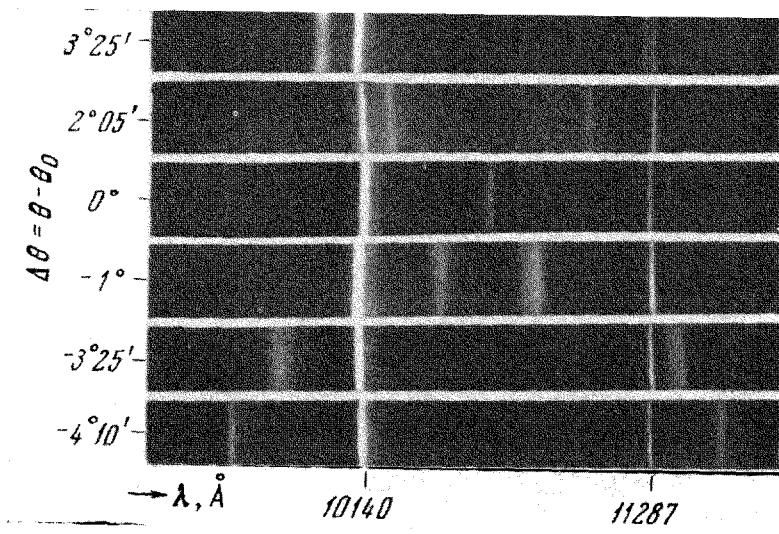


Рис. 2

Вклейка к статье С. В. Кривожижы и др. (стр. 378)

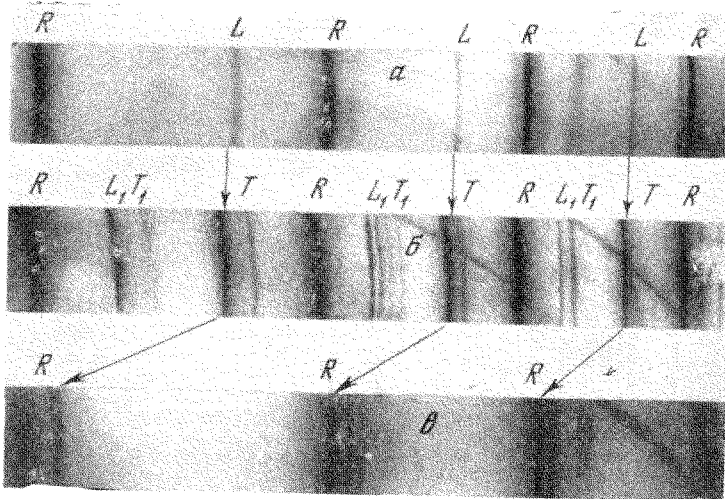


Рис. 1. Спектр вынужденного рассеяния Мандельштама — Бриллюэна в монокристалле кварца при разных температурах. Стрелкой указано изменение положения стоксовой компоненты ВРБМ. *a* — $t = 293^\circ\text{K}$, *R* — линия излучения рубина, *L* — продольная компонента; *б* — $t = 80^\circ\text{K}$, *T* — поперечная компонента ВРБМ, *L₁*, *T₁* — компоненты повторного ВРБМ. Электрическое поле световой волны направлено по оси *X*; *в* — $t = 2,1^\circ\text{K}$

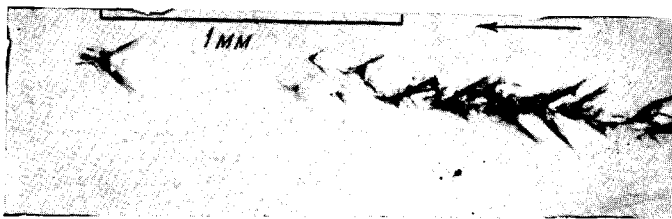


Рис. 2. Микрофотография участка разрушения в монокристалле кварца при $2,1^\circ\text{K}$

мого по частоте параметрического генератора когерентных световых колебаний в области $\lambda \approx 1$ мк на кристалле КДР. Плавная перестройка длины волны осуществлялась механически в полосе от 9575 до 11775⁰А, а мощность колебаний достигала нескольких киловатт.

Эффективные параметрические взаимодействия световых волн (теоретически возможность их наблюдения обсуждалась еще в 1962 г. в [1-3]) впервые наблюдались в 1965 г. в кристаллах АDP [4, 7], КДР [5, 11] и $LiNbO_3$ [6]; при этом в двух последних работах были получены усиления, достаточные для запуска параметрических генераторов света. В генераторе, описанном в [6], использовался кристалл $LiNbO_3$, перестройка частоты осуществлялась путем изменения температуры кристалла. Вместе с тем, для расширения диапазона частот параметрических генераторов и полос перестройки интересно использование других кристаллов и более эффективных схем перестройки частоты.

В созданном нами параметрическом генераторе света на кристалле КДР¹⁾ перестройка частоты осуществлялась за счет вращения нелинейного кристалла в оптическом резонаторе. Такая схема перестройки позволила не только создать генератор, более широкодиапазонный, чем генератор, описанный в [6], но и добиться лучшей воспроизводимости генерируемых частот. Последнее важно с точки зрения проблемы стабилизации частоты параметрического генератора. Напомним, что частоты колебаний, возбуждаемых в параметрическом генераторе, определяются в первую очередь дисперсионными характеристиками нелинейного кристалла. Если волны накачки (частота ω_H) и генерируемых частот (ω_1, ω_2) распространяются в одном направлении, значения генерируемых частот с высокой степенью точности удовлетворяют соотношениям

$$\omega_H = \omega_1 + \omega_2, \quad k_H = k_1 + k_2, \quad (1)$$

где k_i - модули волновых векторов. Анализ дисперсионных свойств кристалла КДР показывает, что при $\lambda_H \approx 0,53$ мк перестраиваемые по частоте параметрические колебания можно возбудить, используя как взаимодействие вида

$$\gamma_o(\omega_1) + \gamma_o(\omega_2) = \gamma_e(\omega_H) \quad (2a)$$

(обыкновенные волны на частотах ω_1, ω_2 взаимодействуют с необыкновенной волной накачки), так и взаимодействия

$$\gamma_o(\omega_1) + \gamma_e(\omega_2) = \gamma_e(\omega_H); \quad \gamma_e(\omega_1) + \gamma_o(\omega_2) = \gamma_e(\omega_H). \quad (26)$$

Здесь и далее для определенности полагаем $\omega_1 < \omega_H/2 < \omega_2$.

Блок-схема экспериментальной установки изображена на рис. 1: Z_1, Z_2 - зеркала параметрического генератора, Φ_1, Φ_2 - фильтры, П- плоскопараллельная пластина, отводящая часть энергии параметрических колебаний в спектрограф; 1 - генератор накачки, 2 - измеритель энергии или пространственной структуры излучения, 3 - спектрограф ИСП-51.

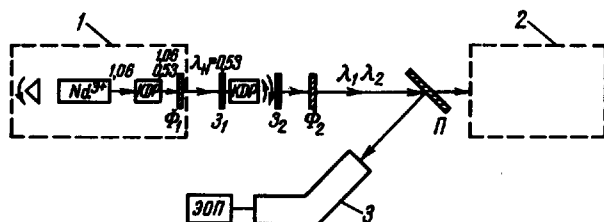


Рис. 1. Блок-схема экспериментальной установки

Источником накачки служили когерентные колебания на $\lambda_H = 0,53$ мк (вторая гармоника лазера с Nd^{3+}), максимальная плотность мощности накачки в нефокусированном пучке достигала $P \approx 30 + 35$ Мвт/см², длительность импульса накачки $\tau_H = 25 \cdot 10^{-9}$ сек, расходимость накачки $\sim 7'-8'$. Волна накачки возбуждала оптический резонатор, содержащий кристалл KDP длиной $l = 3$ см. Параллельность зеркал Z_1, Z_2 поддерживалась с точностью до $6''$; на волне накачки коэффициенты отражения по мощности $R_1(\lambda_H) \approx R_2(\lambda_H) \approx 15\%$. В полосе от 1 до 1,12 мк $R_1 \approx R_2 \geq 95\%$ (см. также график на рис. 3). Кристалл KDP вырезался так, что его грани были перпендикулярны направлению, соответствующему выполнению условия синхронизма для взаимодействия (26) при $\lambda_H = 0,53$ мк и $\omega_1 = \omega_2 = \omega_H/2$ (вырожденный режим; угол между лучом накачки и оптической осью кристалла $\theta_0 = 57^\circ$). Поворот кристалла в резонаторе в плоскости оптической оси на угол $\Delta\theta$

относительно θ_0 приводит к тому, что условие синхронизма выполняется для некоторой пары не равных друг другу частот ω_1, ω_2 , удовлетворяющих условиям:

$$\begin{aligned} \omega_1 + \omega_2 = \omega_H; & \quad n_1^o \omega_1 + n_2^e \omega_2 = n_H^e \omega_H; \quad \Delta\theta = \theta - \theta_0 > 0, \\ & \quad n_1^e \omega_1 + n_2^o \omega_2 = n_H^e \omega_H; \quad \Delta\theta = \theta - \theta_0 < 0. \end{aligned} \quad (3)$$

Разумеется, только выполнения условий (3) недостаточно для самовозбуждений параметрических колебаний; для этого необходимо также, чтобы мощность накачки и добротности оптического резонатора на частотах ω_1, ω_2 были достаточно велики (последнее тем легче выполнить, чем ближе ω_1 и ω_2 к собственным частотам резонатора Ω_1, Ω_2). В нашей установке вырожденные ($\lambda_1 = \lambda_2 = 1,06$ мк) параметрические колебания регистрировались при мощности $P_H \geq 8+10$ Мвт/см² (внутри резонатора). По мере отхода от вырожденного режима пороговая мощность накачки возрастала. Самовозбуждение регистрировалось по появлению интенсивного сигнала, по крайней мере в 10^5 раз превышавшего уровень фона индикатора; возникающее излучение обладало хорошей направленностью; его угловая расходимость не превышала $1,5'$. При $P_H \approx 30 + 35$ Мвт/см² мощность параметрических колебаний достигала $1 - 5$ квт. На рис. 2 (см.вклейку) представлены спектрограммы колебаний, получаемых с выхода параметрического генератора при различных ориентациях кристалла KDP относительно луча накачки²⁾; используется взаимодействие вида (2б). По оси ординат отложены значения $\Delta\theta = \theta - \theta_0$, θ - угол между лучом накачки в кристалле и оптической осью, θ_0 соответствует вырожденному случаю ($\lambda_1 = \lambda_2 = 2\lambda_H$). На всех спектрограммах, кроме дублета параметрических колебаний, сфотографирован также дублет ртутных линий. Перестроенные кривые параметрического генератора $\lambda_{1,2} = \lambda_{1,2}(\Delta\theta)$, полученные путем обработки спектрограммы, представлены на рис. 3. Теоретические кривые: сплошная - для взаимодействия $\gamma_o(\omega_1) + \gamma_e(\omega_2) = \gamma_e(\omega_H)$; пунктирная - для взаимодействия $\gamma_e(\omega_1) + \gamma_o(\omega_2) = \gamma_e(\omega_H)$; в обоих случаях принято $\lambda_1 > 2\lambda_H > \lambda_2$. Экспериментальные точки нанесены кружками. Слева приведены экспериментальные графики зависимости ко-

эфициента отражения зеркал по мощности R , декремента затухания кристалла KDP δ и величины $\left[\frac{\delta_1 + \delta_2}{2} - \frac{1}{2l} \ln R(\omega_1) R(\omega_2) \right]$, характеризующей порог, от длины волны. В невырожденном режиме мощности колебаний несколько уменьшались (до I квт - 500 вт при перестройке на 1000Å).

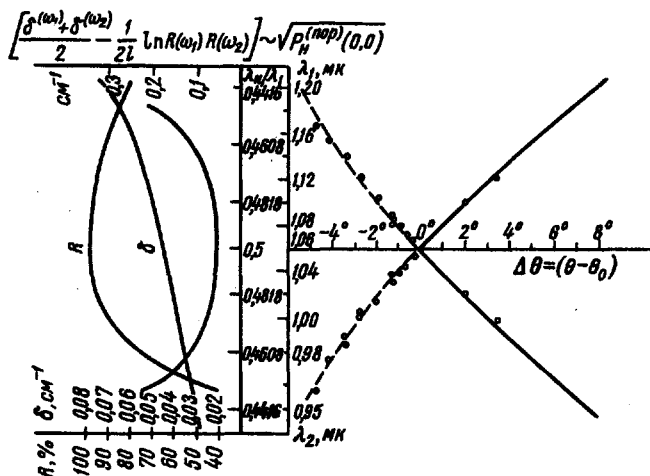


Рис. 3. Перестроечные кривые параметрического генератора света на кристалле KDP

Полученные результаты в основном согласуются с развитой к настоящему времени теорией (см. [6,8-10]). Минимальное значение пороговой мощности накачки $P_N^{(por)}(0,0)$ соответствует точному выполнению условий синхронизма (3) и точной настройке резонаторной системы ($\omega_H = \Omega_1 + \Omega_2$). Согласно [8-10] для одномерного взаимодействия и наших значений декремента затухания KDP δ и коэффициента отражения зеркал по мощности R (см. рис. 3) пороговая мощность накачки $P_N^{(por)}(0,0)$ в вырожденном случае равна ~ 4 Мвт/см². Оценки показывают, что величина диапазона перестройки, достигнутая в нашей установке, определялась частотными характеристиками зеркал (см. рис. 3); величина $P_N^{(por)}(0,0)$ на край достигнутого нами диапазона возрастает в 4 раза. Предельный же диапазон перестройки генератора на кристалле KDP при $\lambda_H = 0,53$ мк определяется только положением полос поглощения; по оценкам он должен быть не меньше 4000Å.

При этом более предпочтительно использовать углы $\theta > \theta_0$, поскольку здесь уменьшается роль апертурного эффекта.

Теоретические кривые рис. 3 были построены по формулам (3) и данным работы [12]. Важно подчеркнуть, что для рассматриваемого взаимодействия $\Delta\theta \sim \Delta\lambda$ (в отличие от использовавшегося в [6] взаимодействия (2а), для которого $\Delta\theta \sim (\Delta\lambda)^2$); последнее позволило получить воспроизводимые частоты и вблизи вырожденного режима (напомним, что в [6] генерация была зарегистрирована лишь на удалениях, больших 200\AA от вырожденного режима). Величина к.п.д. реализованного нами генератора $\eta = \frac{P}{P_{\text{н}}} \approx 3 \cdot 10^{-4}$ существенно ниже теоретического предела (ср. [9]). Оценки показывают, что в нашей схеме величина η определяется в основном свойствами параметрического резонатора, а не конечной длительностью импульса накачки.

В заключение авторы приносят благодарность Н.К.Подсотской, участвовавшей в проведении измерений, и И.В.Нижегородовой за помощь в обработке результатов.

Физический факультет

Московского государственного
университета им. М.В.Ломоносова

Поступило в редакцию
17 марта 1966 г.

Литература

- [1] R.Kingston. Proc. IRE, 50, 472, 1962.
- [2] С.А.Ахманов, Р.В.Хохлов. ЖЭТФ, 43, 361, 1962.
- [3] N.Kroll. Phys. Rev., 127, 1207, 1962.
- [4] C.Wang, G.Racette. Appl. Phys. Lett., 8, N 8, 1965.
- [5] S.A.Akhmanov, V.G.Dmitriev, A.I.Kovrygin, R.V.Khokhlov.
Physics of Quantum Electronics Conf. Proceedings, N.-Y., 1965.
- [6] J.A.Giordmaine, R.Miller. Physics of Quantum Electronics
Conf. Proceedings, N.-Y., 1965.
- [7] С.А.Ахманов, А.Г.Ершов, В.В.Фадеев, Р.В.Хохлов, О.Н.Чунаев,
Е.М.Швом. Письма ЖЭТФ, 2, 458, 1965.
- [8] С.А.Ахманов, Р.В.Хохлов. Успехи физ.наук, 88, №3, 1966.

- [9] С.А.Ахманов, В.Г.Дмитриев, В.П.Моденов, В.В.Фадеев. Радиотехника и электроника, 10, 2157, 1965.
- [10] Д.В.Григорьев, В.К.Руденко, Р.В.Хохлов. Изв. ВУЗов, Радиофизика, 8, 1966, (в печати).
- [11] С.А.Ахманов, А.И.Ковригин, А.С.Пискараскас, В.В.Фадеев, Р.В.Хохлов. Письма ЖЭТФ, 2, 300, 1965.
- [12] F.Zernicke. J. Opt. Soc. Amer., 54, 1215, 1964.
-

- 1) Заметим, что использование этого кристалла позволит создать параметрические генераторы света и в диапазоне $0,4 + 0,8$ мк.
- 2) Иногда линии на частотах $\omega_{01,2}$ в свою очередь раздвигались на дублеты с расстоянием $\sim 70\text{Å}$, что связано с возбуждением нескольких мод.